

# Bachelorarbeit

Fachbereich Informatik und Sprachen

Studiengang Angewandte Informatik - Digitale Medien und

Spieleentwicklung

## Parametrisierung der VR Controller-Steuerung in Unreal Engine 5

Eingereicht von

Lucas Ritscher

Matr. Nr.: 4070113

am 30. August 2024

an der Hochschule Anhalt

*Erstprüfer:* Prof. Dr. Johannes Tümler

*Zweitprüfer:* Prof. Dr. Arne Berger

---

---

---

# Inhalt

1. Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Zielstellungen .....	2
2. Grundlagen .....	3
2.1 Virtuelle Realität.....	3
2.2 Cybersickness .....	3
2.3 User Stories.....	4
2.4 Wilcoxon Signed-Rank Test .....	4
2.5 Spearman's Rangkorrelationskoeffizient .....	5
3. Wissensstand.....	6
4. User Stories .....	8
5. Mögliche Lösungsansätze.....	9
6. Umsetzung.....	10
6.1 Anwendungsentwicklung .....	10
6.2 Realer Aufbau .....	13
6.3 Aufbau der Szenarien.....	15
6.5 Randomisierung .....	22
6.6 Fragebögen .....	23
6.7 Hypothesen.....	25
7. Auswertung.....	26
Hypothese 1: Lerneffekt und Reihenfolge .....	28
Hypothese 2: Körpergröße .....	29
Hypothese 3: Alter .....	31
Hypothese 4: Spielaktivität .....	32
Hypothese 5: Reale Laufgeschwindigkeiten.....	33
Hypothese 6: Konsens .....	34
8. Diskussion .....	35

---

---

9. Fazit und Ausblick .....	37
8.1 Limitierungen und Lösungsansätze .....	38
8.2 Weitere Verbesserungsmöglichkeiten .....	40
10. Literaturverzeichnis.....	42

---

# 1. Einleitung

## 1.1 Motivation

Die Technologien zur Nutzung der Virtuellen Realität (VR) haben sich nach vielen Jahren der Innovation sehr weit entwickelt und bieten vielseitige Einsatzmöglichkeiten. Einer der Anwendungsfälle ist die Verkehrsforschung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Dafür werden in VR-Simulationen verschiedene Szenarien dargestellt, um auch gefährliche Situationen erforschen zu können, ohne reale Personen in Gefahr zu bringen. Damit die Versuchspersonen sich in diesen Simulationen so realistisch verhalten wie nur möglich, muss die Simulation so immersiv wie nur möglich gestaltet werden.

Dafür gibt es viele Möglichkeiten, die aktuelle Technik zu verbessern und anzupassen, sowie die Simulation selbst zu bearbeiten. Jedoch ist für eine erhöhte Immersion nicht nur das Aussehen der Welt wichtig, sondern insbesondere auch die Art, wie man mit ihr interagieren kann.

Ein entscheidender Aspekt in der Verkehrsforschung ist dabei die Bewegung der Versuchspersonen, die möglichst wie im echten Leben über die Straßen gehen oder sich im Verkehr bewegen können sollen. Für die Simulationen am DLR, welche in der Unreal Engine 5 erstellt werden, muss also eine entsprechende Fortbewegung darin gewährleistet sein, jedoch besitzt Unreal Engine standardmäßig lediglich ein System zur Teleportation.

Dies ist jedoch weder realistisch noch immersiv, weshalb sich diese Arbeit damit beschäftigt, wie eine flüssige und immersive Art der Bewegung erstellt werden könnte. Dazu zählen verschiedene Faktoren, wie beispielsweise Fortbewegungsgeschwindigkeiten und die Frage, wie sich diese in verschiedene Laufrichtungen unterscheiden.

---

## 1.2 Zielstellungen

Der Zweck der Arbeit ist es, verschiedene Geschwindigkeiten der Bewegung in VR miteinander zu vergleichen und zu erforschen, ob es eine einheitliche Geschwindigkeit gibt, mit der für eine möglichst breite Masse an Menschen ein hoher Grad an Immersion erzeugt werden kann.

Die einzelnen Ziele sind:

A: In Unreal Engine 5 eine Anwendung für das Gehen in VR mithilfe der Controller erstellen

B: Verschiedene Parameter aus Literatur und eigenen Vorversuchen aussuchen

C: Ein Experiment erstellen, in dem Probanden die Parameter in einer sinnvollen Umgebung mit bestimmten Aufgaben ausprobieren können

D: Die Probanden mit Fragebögen befragen über die Themen Immersion und Cybersickness

E: Die gesammelten Daten auswerten

## 2. Grundlagen

Im Folgenden werden nun die relevantesten Begriffe erläutert, um ein grundlegendes Verständnis der in dieser Arbeit behandelten Themen und Begriffe zu vermitteln.

### 2.1 Virtuelle Realität

VR stellt eine Möglichkeit dar, eine virtuelle Umgebung viel umfassender zu erleben als an einem Bildschirm. Dafür wird eine VR-Brille verwendet, welche es ermöglicht, visuelle und auditive Reize in einer Art und Weise zu vermitteln, die der physischen Realität möglichst nahekommt. Die Bewegung dieser Brille und der zugehörigen Controller, welche in den Händen gehalten werden, werden durch Sensoren erfasst und in die virtuelle Welt übertragen.

Die Brille beinhaltet zwei integrierte Bildschirme, welche ein für jedes Auge angepasstes Bild zeigen, wodurch ein räumlicher Effekt entstehen kann. Dabei ist es wichtig, dass diese auf den jeweiligen Augenabstand des Nutzers angepasst sind. Für die Immersion und ein flüssiges und visuell ansprechendes Erlebnis ist dabei insbesondere die Auflösung und Bildwiederholungsrate der Bildschirme sowie die Größe des Sichtfeldes essenziell [1].

### 2.2 Cybersickness

Eines der größten Probleme in der virtuellen Realität ist die Tatsache, dass bei zu langer Nutzung häufig verschiedene Symptome auftreten, welche gesammelt als Cybersickness bezeichnet werden. Diese beinhalten unter anderem Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwitzen und verschwommene Sicht. Die 16 wichtigsten Symptome werden im "Simulator Sickness Questionnaire" [2] analysiert. Auch wenn die genaue Ursache für

---

Cybersickness nicht endgültig geklärt ist, ist die verbreitetste Theorie, dass sie durch die Diskrepanz der Sinne entsteht, wenn man sieht, wie man sich in der virtuellen Welt bewegt, jedoch in der realen Welt stillsteht [3].

### 2.3 User Stories

Eine User Story ist eine kurze Beschreibung von einem Anwendungsbeispiel eines Produktes. Sie besteht aus einem oder wenigen Sätzen und erklärt, was dem Nutzer möglich sein soll mit dem Produkt zu tun. Wenn genügend User Stories erstellt wurden, können diese genutzt werden, um die Anforderungen an ein Produkt festzulegen und dienen als Leitfaden in der Entwicklung [4].

### 2.4 Wilcoxon Signed-Rank Test

Der Wilcoxon Signed-Rank Test bietet eine Möglichkeit zu prüfen, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen zwei verwandten Stichproben gibt, indem er die Median-Differenz der beiden vergleicht. Im Gegensatz zum T-Test, welcher eine Normalverteilung der Daten voraussetzt, ist der Wilcoxon-Test ein nicht-parametrischer Test, weshalb er deutlich weniger Anforderungen an die Stichproben stellt. Er gibt aus, ob eine Nullhypothese angenommen werden kann oder nicht, zusammen mit dem dazugehörigem p-Wert [5]. Die Nullhypothese besagt, dass angenommen wird, dass kein Zusammenhang zwischen zwei Stichproben besteht und der p-Wert steht für das Signifikanzniveau, welches standardmäßig 0.05 unterschreiten sollte, also 5 Prozent, um als signifikant zu gelten.



## 2.5 Spearman's Rangkorrelationskoeffizient

Der Spearman's Rangkorrelationskoeffizient überprüft, ob zwei Stichproben miteinander korrelieren und gibt mit Hilfe des Koeffizienten an, wie stark die Korrelation ist. Dabei ist es egal, ob die Korrelation positiv oder negativer Natur ist. Sie wird als eine Zahl zwischen  $-1$  und  $1$  angegeben, wobei der negative Bereich für eine negative Korrelation steht und der positive Bereich für eine positive Korrelation. Der Abstand zur  $0$  zeigt an wie stark die Korrelation ist, wobei sie stärker wird, je größer der Abstand zur  $0$  ist. Zusätzlich wird auch hier ein p-Wert ausgegeben, um das Signifikanzniveau zu überprüfen [6].

### 3. Wissensstand

Die Technologie der Virtuellen Realität bietet viele Anwendungsmöglichkeiten in den unterschiedlichsten Bereichen und ist daher ein bereits gut erforschtes Themengebiet. In diesem Kapitel werden relevante Aspekte des aktuellen Standes der Technik beschrieben. Für die Literaturrecherche wurden die Suchinstrumente Google Scholar, SpringerLink, IEEE Xplore und Research Gate genutzt und Begriffe wie smooth und continuous Locomotion, welche für die flüssige Art der Fortbewegung stehen, die in dieser Arbeit verwendet wird.

Fortbewegung in VR ist ein großer Forschungsbereich mit zahlreichen Studien und veröffentlichten Papers. Dabei werden viele verschiedene Aspekte und neue Fortbewegungsarten ausgetestet und verglichen. So wurden in den Jahren 2014-2017 rund 80% der sich mit Locomotion in VR beschäftigenden Paper zu neueren Ideen der Fortbewegung, wie "Human Joystick", "Arm Swinging", "Walking-in-place" oder verschiedenen anderen verfasst. Nur rund 20% beschäftigten sich mit der Bedienung der typischen VR-Controller. Zusätzlich spalten sich auch in der Betrachtung der Controller die Unterthemen noch weiter auf, da nicht nur die Bewegungsgeschwindigkeit, sondern auch die Bewegungsrichtung in Blickrichtung oder Controller Richtung, das Drehen der Kamera oder verschiedene Erweiterungen wie beispielsweise das Überdrücken der Joysticks erforscht werden [7].

Auch wenn Geschwindigkeiten in jeder Fortbewegungsart festgelegt werden müssen und daher nicht nur die Controller-Forschung in Betracht gezogen werden kann, ist es durch den unterschiedlichen Grad an Abstraktion schwer zu entscheiden, ob diese wirklich auch auf die Controller zutreffen können oder ob diese nur zu dem entsprechenden Fortbewegungsmittel passen.

Eine weitere Einschränkung besteht darin, dass manche Studien sich zwar mit der Bewegungsgeschwindigkeit in VR beschäftigen, jedoch den Fokus auf den

---

Zusammenhang mit Cybersickness legen und nicht auf das Gefühl des Realismus und der Immersion [8].

Ebenso ist der Anwendungskontext häufig ein anderes, da viele Studien sich beispielsweise auf Spiele oder andere eher weniger realistische Anwendungsziele fokussieren. Da für die möglichst realistische Entscheidungsfindung der realistische Kontext im Vordergrund steht, ist viel der bisherigen Forschung nicht oder nur begrenzt nutzbar. Daher ist es wichtig, die Bewegungssteuerung für die Controller erneut im Forschungskontext zu untersuchen und den Fokus auf den Realismus zu legen, um eine gute Grundlage für zukünftige Forschungsprojekte zu erschaffen.

Im Gegensatz zu den Bewegungsgeschwindigkeiten in VR gibt es einige Studien, die sich mit dem Gehen in der echten Welt beschäftigen und teilweise auch dort versuchen die Geschwindigkeiten zu analysieren [9,10,11,12].

## 4. User Stories

Um den Realismus der Fortbewegung in der Virtuellen Realität zu erhöhen, gibt es zahlreiche Parameter, deren Anpassung hilfreich sein könnten. Um zu bestimmen, welche dieser Parameter relevant sind und getestet werden sollten, wurden zunächst einige User Stories erstellt. Diese dienen dazu, die Anforderungen klarer zu definieren und eine fundierte Entscheidungsgrundlage zu bieten. Sie ergeben sich aus dem Ziel, Forschung auf virtuellen Karten durchzuführen, welche realistische Verkehrssituationen darstellen wollen. Insbesondere liegt der Fokus dabei auf dem Verhalten der Probanden bei der Straßenüberquerung und dem Verhalten an Ampelanlagen.

Daraus ergeben sich zunächst sechs zentrale User Stories:

1. Eine Person wartet an einer Ampel, bis diese grün wird. Danach überquert sie in ruhigem Tempo die Straße.
2. Eine Person läuft zu einer Ampel, die bereits grün ist. Sie beeilt sich, noch rechtzeitig über die Straße zu gelangen und erreicht gerade noch rechtzeitig die andere Seite.
3. Eine Person läuft zu einer Ampel, die bereits grün ist. Sie erreicht diese jedoch genau, als das Signal auf Rot wechselt und muss einen Schritt zurück von der Straße machen.
4. Eine Person steht am Straßenrand und wartet, muss jedoch einen Schritt zurücktreten, als ein Fahrzeug zu nah am Bordstein vorbeifährt.
5. Eine Person überquert eine Ampel und muss einen Bogen um ein Fahrzeug machen, das zu weit in die Kreuzung hineingefahren ist.
6. Eine Person überquert eine Ampel und muss ihr entgegenkommenden Fußgängern ausweichen.

## 5. Mögliche Lösungsansätze

Die wichtigste Frage, die vor Beginn der Studie geklärt werden muss, ist, welche Parameter für die Untersuchung ausgewählt werden sollen. Es gibt für die Bewegungssteuerung viele verschiedene Stellschrauben, welche für eine immersive und realistische Art der Bewegung relevant sind, jedoch reicht der zeitliche Rahmen nicht, um alle zu überprüfen. Potenzielle relevante Parameter sind: die Minimalgeschwindigkeit, die Maximalgeschwindigkeit, den Beschleunigungsverlauf, die Art der Beschleunigung, die Geschwindigkeitsunterschiede in verschiedene Richtungen, die Frage, ob in Blickrichtung oder Controllerrichtung gelaufen wird, sowie die Visualisierung des Avatars, insbesondere ob zumindest Schuhe sichtbar sein sollten.

Mit Blick auf die User Stories lassen sich für diese Arbeit bereits einige Parameter ausschließen. So ist es beim Kreuzen einer Straße wichtig, sich frei umschaue zu können, weswegen das Laufen in Blickrichtung ausgeschlossen ist. Ebenso ist es notwendig, die Laufgeschwindigkeit durch das stärkere oder schwächere Durchdrücken des Controllers beeinflussen zu können und es muss entschieden werden, ob und wie zwischen verschiedenen Geschwindigkeiten gewechselt werden soll.

Die Minimalgeschwindigkeit und die Beschleunigung selbst sind von geringerer Bedeutung, da die maximale Geschwindigkeit idealerweise schnell erreicht werden sollte.

Dementsprechend sind vorerst nur noch die maximale Geschwindigkeit, der Beschleunigungsgraph, die Geschwindigkeitsdifferenz in unterschiedliche Richtungen und die Visualisierung des Avatars durch mindestens die Schuhe übrig.

Da sich das Realismusgefühl nicht einfach berechnen oder in der reinen Theorie analysieren lässt, muss es praktisch mithilfe einer Studie ausgetestet werden.

## 6. Umsetzung

### 6.1 Anwendungsentwicklung

Um die Studie durchführen zu können, musste zunächst eine entsprechende Anwendung mit verschiedenen Szenarien erstellt werden. Die bekanntesten Umgebungen für VR-Anwendungen sind Unity und Unreal Engine 5 (UE5) [13]. Da im DLR für die Verkehrsforschung jedoch hauptsächlich Unreal Engine genutzt wird und daher für diese Umgebung bereits interne Plugins vorhanden sind, fiel die Entscheidung schnell auf Unreal. Für die Bewegung per Joystick am Controller ließ sich dank ausführlicher Tutorials [14, 15] recht schnell ein erster Prototyp aufsetzen. Mithilfe des Prototyps konnte ein besseres Verständnis dafür erreicht werden, welche Aspekte in der Studie getestet werden können.

Die Bewegungssteuerung wurde so aufgebaut, dass sich ein Nutzer immer standardmäßig in die Richtung bewegt, in die der Controller zeigt. Die vertikale Ausrichtung ist dabei nicht relevant, sondern lediglich die horizontale Richtung. Das bedeutet, dass die Controller auch bequem nach unten gehalten werden können und nicht dauerhaft vor dem Körper gehalten werden müssen. Zusätzlich kann durch die Position des Joysticks in jede Richtung gelaufen werden, dies ist jedoch abhängig von der Ausrichtung des Controllers. Die Stärke des Laufens kann auch durch die Stärke des Durchdrückens des Joysticks beeinflusst werden, also kann bei nur halbem Drücken auch in halber Geschwindigkeit gelaufen werden.

Schnell fiel dabei auf, dass eine ansatzweise präzise Bewegung nur dann gut möglich ist, wenn eine visuelle Referenz für die genaue Position des Avatars vorhanden ist. Daher wurde entschieden, den Avatar dauerhaft mithilfe von animierten Schuhen zu visualisieren, wodurch die Fragestellung, ob das Anzeigen der Füße sinnvoll ist, verworfen wurde. Zwar hätte anstatt nur der Schuhe ebenso der gesamte Körper dargestellt werden können, was durchaus das Präsenzgefühl der Probanden/-innen

erhöhen könnte, jedoch wurde aus Gründen des zeitlichen Aufwandes darauf verzichtet, da der potenzielle Nutzen als nicht hoch genug eingeschätzt wurde. Stattdessen reicht die reduzierte Darstellung aus, damit sich Versuchspersonen mit der Controllersteuerung nicht nur präzise bewegen, sondern auch präzise stoppen können.

Ebenso wurde das Bewegen in unterschiedliche Richtungen deutlich eingeschränkt, da im Straßenverkehr hauptsächlich die Vorwärtsbewegung relevant ist. In seltenen Fällen ist es erforderlich, ein Stück rückwärts zu gehen oder seitlich auszuweichen. Stattdessen geht man gewöhnlich maximal ein oder zwei Schritte rückwärts oder zur Seite, bevor man sich dreht, um vorwärts laufen zu können. Aufgrund dessen und der Tatsache, dass die Seitwärts- und Rückwärtsbewegung deutlich langsamer sind als die Vorwärtsbewegung, wurde in der Anwendung die Geschwindigkeit für alle Richtungen außer vorwärts deutlich verringert. Zusätzlich wurde entschieden, dass die Vorwärtsbewegung im Fokus der Untersuchung stehen soll, jedoch die Rückwärtsbewegung auch in einem geringen Maß berücksichtigt werden sollte.

Für die Auswahl der Geschwindigkeiten selbst wurden mehrere Möglichkeiten aus der Literatur genutzt. Als Referenzpunkt wurde die mittlere Geschwindigkeit auf die Durchschnittsgeschwindigkeit von 1.44 m/s festgesetzt [16]. Da nun eine schnellere und eine langsamere Geschwindigkeit benötigt wird, galt es sinnvolle Laufgeschwindigkeiten aus der Literatur zu finden. Hierfür wurden zwei Geschwindigkeiten aus einem Paper über durchschnittliche Laufgeschwindigkeiten im Zusammenhang mit dem Alter ausgesucht. Dies hatte den Hintergrund, dass die Laufgeschwindigkeiten für alle Altersgruppen funktionieren sollten, weshalb es naheliegend war, dies auch in die Geschwindigkeitsauswahl mit einzubeziehen. Zusätzlich bietet dies die Möglichkeit mehr Vergleiche zwischen den Daten in der Auswertung nutzen zu können, da es so auch sinnvoll ist, den Zusammenhang zwischen Alter und Geschwindigkeit zu untersuchen. Die ausgewählten Geschwindigkeiten sind 1.272 m/s und 1.749 m/s [12].

Eine weitere Maßnahme, die noch vor dem restlichen Aufbau der Studie von Bedeutung war, ist das Ausmessen des Augenabstandes. Dies ist ein wichtiges Detail in der

---

Vorbereitung, da für den Augenabstand in der Brille das Bild angepasst werden muss. Ist der Augenabstand nicht korrekt eingestellt, kann dies einerseits zu einem unscharfen Bild führen, was wiederum der Immersion schadet und die Cybersickness verstärkt. Andererseits verringert eine inkorrekte Einstellung die Möglichkeit der Tiefenwahrnehmung, welche durch die Verwendung einer VR-Brille generell schon stark eingeschränkt ist. Dies hängt damit zusammen, dass das stereoskopische Sehen, was eines der wichtigsten Aspekte der Tiefenwahrnehmung ist, ohne die korrekte Einstellung des Augenabstands nicht richtig funktioniert. [17, 18, 19]



## 6.2 Realer Aufbau

Damit die Probanden/-innen später den Realismus der Geschwindigkeiten besser einschätzen können, wurde vor Ort eine gerade Strecke abgemessen, welche sie in einem normalen Tempo ablaufen sollten. Normal bedeutet hierbei eine Laufgeschwindigkeit ohne Hast, wie die Probanden/-innen im gewöhnlichen Alltag umhergehen. Außerdem sollten sie versuchen, an der Ziellinie stehen zu bleiben, ohne nach dem Stehenbleiben die Position zu korrigieren und näher an die Linie heranzutreten. Mit diesen realen Lauftests sollte erreicht werden, dass die Probanden/-innen eine bessere Referenz für ihre reale Laufgeschwindigkeit erhalten.

Diese Strecke wurde durch farbige Linien auf dem Boden markiert und es wurde sowohl die Zeit vom Loslaufen bis Stehenbleiben gemessen als auch die Entfernung von der Fußspitze bis zur Linie. Da es Probanden/-innen schwerfallen könnte, auf Abruf ihre natürliche Gehgeschwindigkeit zu finden, wird dieser Versuch mehrfach wiederholt. Dabei wurden jeweils 2 Läufe direkt hintereinander zwischen den Durchläufen der einzelnen Geschwindigkeiten durchgeführt, sowie auch vor und nach allen Durchläufen. Es ergeben sich bei 3 Geschwindigkeiten und jeweils 2 Läufen pro Versuch insgesamt 8 Läufe. Dadurch kann eine Durchschnittsgeschwindigkeit berechnet werden und der Einfluss von versehentlichem schnellerem oder langsamerem Laufen wird verringert.

Im Gegensatz zur Literatur wurde an der ersten Linie losgelaufen und an der zweiten gestoppt, anstatt den Probanden/-innen vor und hinter den Linien die Möglichkeit zum Beschleunigen und Abbremsen zu geben. Dies lag zum einen daran, dass für das DLR ein wichtiger Aspekt des Lauftests darin bestand, präzise an der Linie zu stoppen, wodurch die Probanden/-innen schon während des Laufens abbremsen mussten. Zum anderen war in der Simulation nicht genug Platz, um mehrere Meter Platz vor der Linie zu bieten, weshalb, um die Konsistenz zu wahren, auch in den realen Versuchen an der Linie gestartet wurde. Um die Durchschnittsgeschwindigkeiten dennoch einigermaßen mit der Literatur vergleichen zu können, wurde zumindest die Entfernung zwischen den beiden Linien wie in der Literatur auf 7.62 m festgelegt.

---

Wie in Abbildung 1 und 2 zu sehen ist, wurde der Aufbau der VR-Brille mithilfe einer Halterung realisiert, welche eine gebogene Stange über den Probanden bot. Das Kabel der VR-Brille wurde daran so befestigt, dass es zwar immer wieder herangezogen wurde, die Probanden/-innen jedoch nur einen geringen Zug verspürten, solange sie sich nicht zu weit vom Mittelpunkt entfernten. Dadurch konnte das Kabel der VR-Brille über den Probanden/-innen hängen, sodass sie nicht darauf achten mussten, ob sich das Kabel verdreht oder um sie wickelt. Die freie Fläche von ungefähr 3 x 3 m wurde von drei Lighthouses, den Sensoren von SteamVR, umrundet, um für ein möglichst gutes Tracking der Brille zu sorgen. Da die Probanden/-innen sich möglichst auf der Stelle drehen sollten, war diese kleine Fläche vollkommen ausreichend.



Abbildung 1: Aufbau VR-Brille



Abbildung 2: Aufbau VR-Brille

### 6.3 Aufbau der Szenarien

Für die Szenarien in der virtuellen Welt wurden verschiedene Parcours entwickelt, die sowohl Präzision in der Bewegung als auch beim Stoppen an vorgegebenen Stellen erfordern. Gleichzeitig sollten diese Parcours den Probanden/-innen Anhaltspunkte und Vergleichsmöglichkeiten bieten, um das Bewegungsgefühl realistisch beurteilen zu können. Dafür wurden einige DLR interne Karten und zwei bereits vorhandene Parcours genutzt, welche mithilfe einer Linie auf dem Boden einen zu verfolgenden Weg vorgeben. Diese vorhandenen Parcours befinden sich in einer virtuellen Karte, welche auf einem Konferenzraum im DLR-Standort basiert, welcher in Abbildung 3 zu sehen ist.



Abbildung 3: Virtueller Konferenzraum (Screenshot in UE5)

Um den Probanden/-innen den Vergleich der Geschwindigkeit mit der Realität zu erleichtern, wurde auch in der virtuellen Welt eine gerade Strecke erstellt mit zwei Linien (siehe Abbildung 4). Auch hier sollten die Probanden/-innen versuchen, an der Ziellinie stehenzubleiben, woraufhin die Entfernung gemessen wurde.

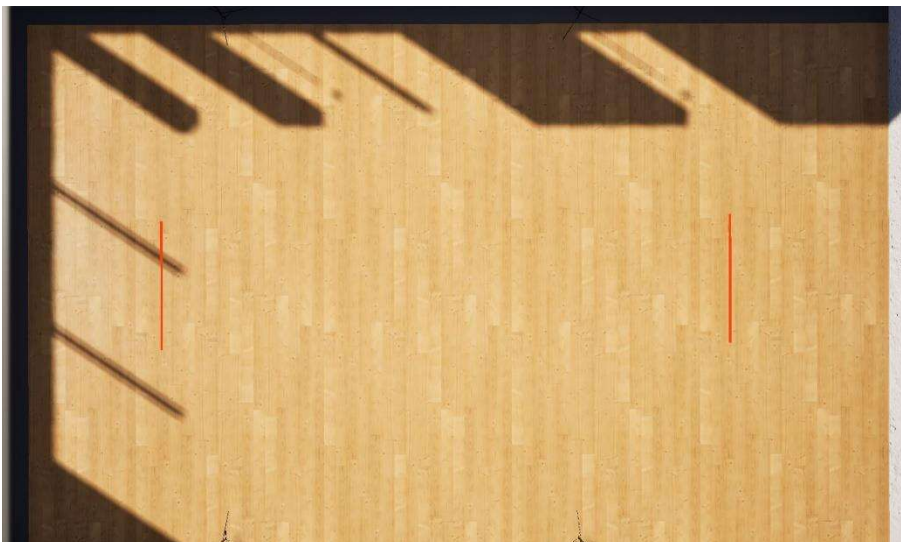


Abbildung 4: gerades Laufen im Raum (Screenshot in UE5)

---

Um für Proband/-innen leichter als verschiedene Parcours in Erinnerung zu bleiben, wurden die Linien der bereits vorhandene Parcours unterschiedlich eingefärbt. Einer der Parcours erhielt eine grüne Linie (siehe Abbildung 5), welche mit vielen Kurven durch den Raum führt und am Ende ein freies Stück mit einer Ziellinie besitzt. Hier wurde ebenfalls gefordert, an der Linie stehen zu bleiben und die Entfernung wurde gemessen.

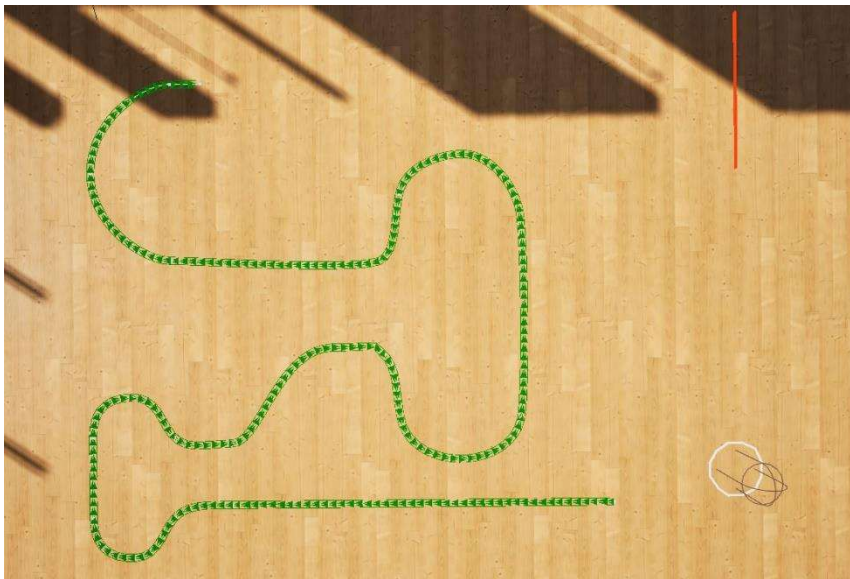


Abbildung 5: grüner Parcours (Screenshot in UE5)

Der zweite bereits vorhandene Parcours wurde lila gefärbt (siehe Abbildung 6) und besitzt mehrere grüne Zylinder, um die ein Slalom gelaufen werden sollte. Wenn diese mit den animierten Füßen getroffen wurden, färbten sie sich rot und fielen um. Im Gegensatz zu den Szenarien zuvor mussten die Probanden/-innen hier nicht versuchen, präzise anzuhalten, sondern konnten am Ende in einer vorgegebenen Zone stehenbleiben, ohne dass eine Entfernung gemessen wurde.

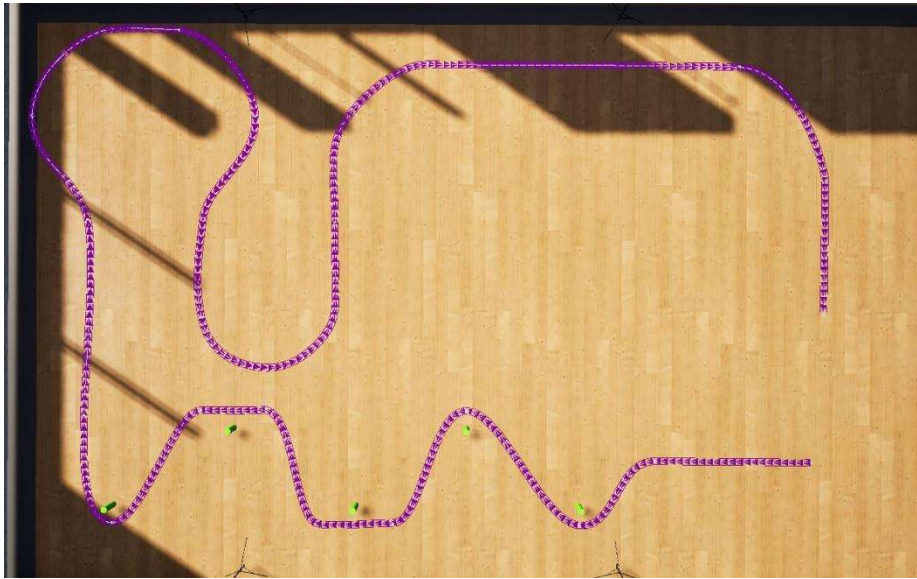


Abbildung 6: lila Parcours (Screenshot in UE5)

Um die Schwierigkeit der Bewegung und des ständigen Drehens weiter zu erhöhen, wurde ein kompletter Slalom erstellt (siehe Abbildung 7). Dabei soll auf einer Seite des Raumes ein Slalom mit in einer Reihe stehenden Zylindern gelaufen werden und auf der anderen Seite stehen die Zylinder versetzt, um die benötigte Drehung zu verstärken.

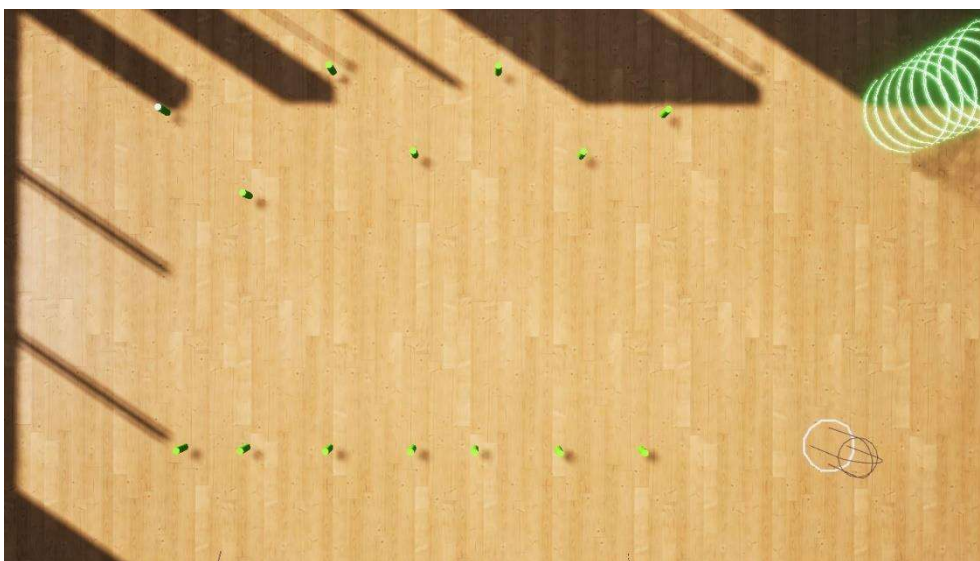


Abbildung 7: Slalom (Screenshot in UE5)

---

Ein weiterer Kurs wurde erstellt, um auch die Rückwärtsbewegung zu testen (siehe Abbildung 8). Dabei wurden unterschiedliche Farben genutzt, um Strecken, welche vorwärts gelaufen werden sollten, von denen welche rückwärts gelaufen werden sollten, zu unterscheiden. Auch hier sind Zylinder vertreten, damit die Bewegung recht präzise erfolgen muss.

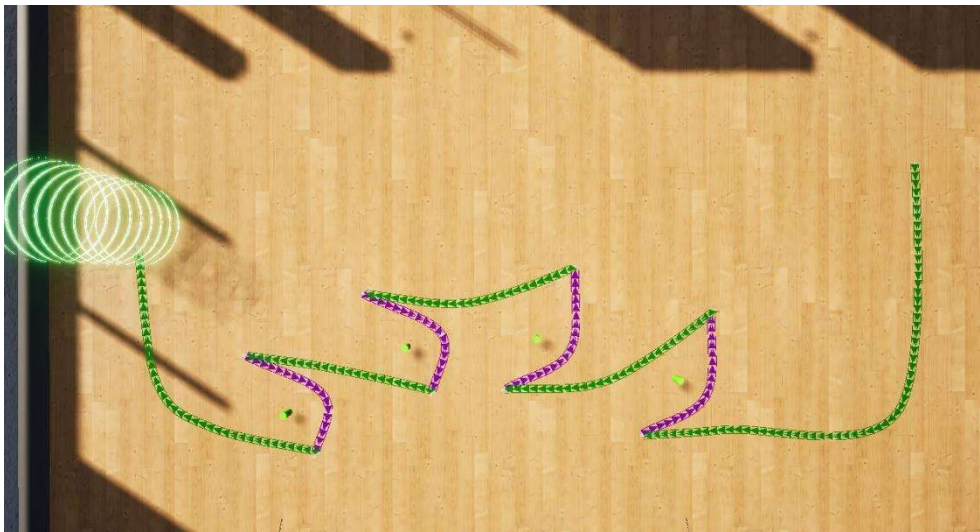


Abbildung 8: zweifarbiger Parcours mit rückwärtslaufen (Screenshot in UE5)

Die andere genutzte Karte basiert auf dem Tostmannplatz in Braunschweig und umfasst eine Kreuzung mit Ampelanlagen, mehreren Fußwegen und eine Fläche zum freien Bewegen (siehe Abbildung 9). Dadurch ist sie gut geeignet, um das Realismusgefühl zu testen, da sie viele Anhaltspunkte bietet, um die Bewegung in der virtuellen Welt mit den realen Erfahrungen zu vergleichen.



Abbildung 9: Nachbildung Tostmannplatz (Screenshot in UE5)

Auf der Karte Tostmannplatz finden zwei Szenarien statt. Als erstens sollten die Probanden/-innen den Fußweg entlang gehen und dabei im Weg stehenden Personen ausweichen (siehe Abbildung 10).

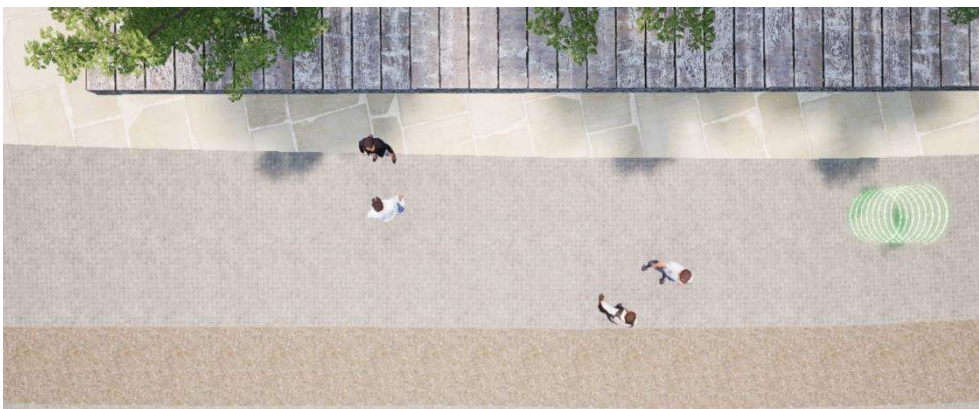


Abbildung 10: Im Weg stehende Personen auf dem Tostmannplatz (Screenshot in UE5)



Das zweite Szenario auf dem Tostmannplatz erfordert von den Probanden/-innen auf eine Ampel zuzugehen, den Anforderungstaster zu betätigen, damit die Ampel grün wird, und dann die Straße überqueren (siehe Abbildung 11).

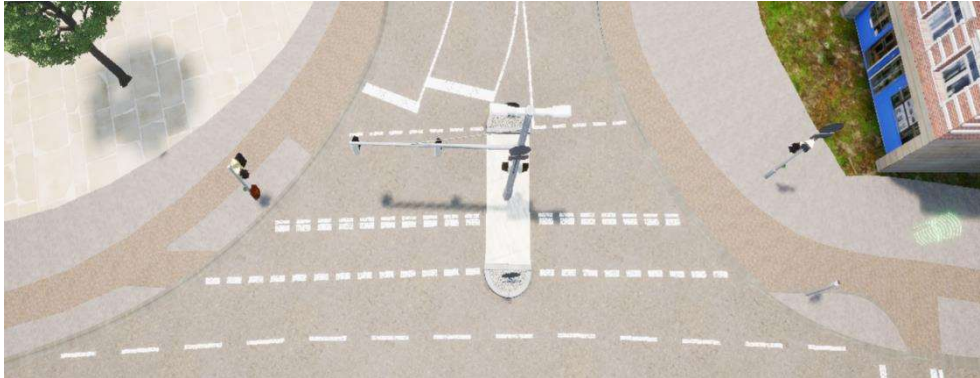


Abbildung 11: Ampel auf dem Tostmannplatz (Screenshot in UE5)

Wichtig war es in der Durchführung auch, dass in regelmäßigen Abständen zwischen den Szenarien und auch wenn es den Eindruck gemacht hat, dass es den Probanden/-innen nicht mehr so gut ging, nachgefragt wurde, ob Symptome der Cybersickness auftreten. An erster Stelle stand während der gesamten Durchführung das Wohlbefinden der Versuchspersonen und es wurde immer deutlich gemacht, dass jederzeit Pausen möglich sind oder die Studie abgebrochen werden kann.

## 6.5 Randomisierung

Ein weiterer wichtiger Faktor, der nicht außer Acht gelassen werden darf, ist, dass für die Entscheidung, welche Geschwindigkeit sich am besten anfühlt, die Reihenfolge der Durchführungen eine große Rolle spielt. Durch verschiedene Bias kann das Realismusgefühl verzerrt werden, wodurch die Einschätzung verfälscht wird. Am relevantesten ist dabei der Reihenfolgen-Bias, welcher im Zusammenspiel mit dem Lerneffekt über die Durchführungen hinweg einen großen Einfluss haben könnte. Daher ist es wichtig die Elemente der Durchführungen zu randomisieren, um den Bias entgegenzuwirken und Verzerrungen zu vermeiden. Da der Hauptfokus auf den verschiedenen Geschwindigkeiten liegt, hatte die Randomisierung dieser Geschwindigkeiten Priorität. Bei drei Geschwindigkeiten gab es sechs mögliche Reihenfolgen. Zusätzlich wurde die Möglichkeit in Betracht gezogen, die einzelnen Szenarien innerhalb der Geschwindigkeiten ebenfalls zu randomisieren, da durch die Länge der Durchführung gegebenenfalls mentale Erschöpfung und weitere Bias auftreten könnten. Diese könnten letztendlich die Ergebnisse und das Verhalten der Probanden/-innen beeinflussen, was jedoch durch die Randomisierung verringert werden könnte.

In mehreren Vorversuchen konnte jedoch gezeigt werden, dass die mentale Erschöpfung nur in geringem Maße auftritt, wodurch die Priorität für die Randomisierung der Szenarien deutlich sinkt. Ein weiterer Faktor gegen eine umfassende Randomisierung bestand in der Anzahl der dadurch entstehenden Kombinationen, da bei 7 Szenarien mit 3 Geschwindigkeiten eine zu hohe Menge an Probanden/-innen vonnöten wäre, was den zeitlichen Rahmen einer Bachelorarbeit deutlich übersteigt.

Ein Vorteil der Beschränkung auf die Randomisierung der Geschwindigkeiten besteht darin, dass jede Kombination mindestens zweimal durchlaufen werden kann. Dies reduziert die Wirkung zufälliger statistischer Ausreißer und erhöht die Zuverlässigkeit der Ergebnisse.

## 6.6 Fragebögen

Im nächsten Schritt wurden die Fragebögen für die Probanden/-innen erstellt. Dafür galt es zunächst, die relevanten Kriterien, welche abgefragt werden sollten, festzulegen. Neben den etablierten Fragen des Simulation Sickness Questionnaire [2] und dem Presence Questionnaire [20], wurden Fragen zur Demographie, zur Bewertung der einzelnen Geschwindigkeiten, zu Schwierigkeiten bei der Bewegung und den Szenarien sowie zur mentalen Erschöpfung aufgenommen. Die demografischen Fragen umfassten Alter, Größe und eine Selbsteinschätzung der eigenen Gehgeschwindigkeit. Ebenso wurden Fragen zur Häufigkeit des Spielens digitaler Spiele, zur Nutzung der Virtuellen Realität und zur Verwendung von Joysticks zur Steuerung im digitalen Umfeld gestellt.

Zwischen den Versuchen zu den einzelnen Geschwindigkeiten wurde ein verkürzter Simulation Sickness Questionnaire durchgeführt. Die Probanden/-innen wurden gefragt, wie starke Probleme sie mit den jeweiligen Szenarien hatten, und sollten ihre Schwierigkeiten mit den Mechaniken sowie die erstellten Fußanimationen und das damit verbundene Realismusgefühl bewerten. Darüber hinaus sollten sie die Geschwindigkeit im Vergleich zur Realität einschätzen, sowohl vorwärts als auch rückwärts, und ihre mentale Erschöpfung bewerten. Zusätzlich hatten die Probanden/-innen die Möglichkeit gegebenenfalls vorhandene Anmerkungen in einem freien Feld niederzuschreiben. Um die Immersion nicht zu unterbrechen, wurde dieser Fragebogen noch in VR durchgeführt. Dafür wurden in den virtuellen Raum die Fragen und Bilder der Parcours an der Wand angebracht und die Fragen mündlich beantwortet. Der Versuchsleiter hat die Antworten dann für die Probanden/-innen eingetragen.

Nach Abschluss aller Durchläufe wurde dann der vollständige Simulation Sickness Questionnaire und Presence Questionnaire durchgeführt und die Probanden sollen versuchen, die Geschwindigkeiten den jeweiligen Runden zuzuordnen, in denen sie diese durchgeführt haben. Zusätzlich sollten sie die Geschwindigkeiten den Rängen eins

bis drei zuordnen und somit bewerten, welche Geschwindigkeit das realistischste Gefühl erreichen konnte. Dabei besteht die Möglichkeit, falls keine Entscheidung getroffen werden kann, weil mindestens zwei Geschwindigkeiten als gleich gut oder schlecht empfunden wurden, die Frage freizulassen. Jede andere Frage, abgesehen von den Anmerkungsfeldern, ist verpflichtend. Abschließend wird den Probanden/-innen offengelegt, in welcher Reihenfolge sie die Geschwindigkeiten durchlaufen haben und haben die Möglichkeit ihr Ranking nochmals anzupassen, falls sich durch diese Information etwas verändert. Beide Rankings wurden aufgezeichnet.

## 6.7 Hypothesen

Aus den Fragestellungen und Erwartungen, die aus den Vorversuchen und Überlegungen bestanden, ergaben sich die folgenden Hypothesen.

1. Durch Lerneffekt und Reihenfolgen-Bias wird zumeist die zuletzt durchgeführte Geschwindigkeit präferiert.
2. Je größer ein/e Proband/in ist, desto mehr wird die schnellste Geschwindigkeit präferiert.
3. Je älter ein/e Proband/in ist, desto mehr wird die langsamste Geschwindigkeit präferiert.
4. Je mehr Zeit ein/e Proband/in mit digitalen Spielen verbringt, desto mehr wird die schnellste Geschwindigkeit präferiert.
5. Falls die vorherigen Kriterien nicht zutreffen, wird die Geschwindigkeit, welche der realen am nächsten kommt, präferiert.
6. Ein einheitlicher Konsens auf eine der Geschwindigkeiten lässt sich nicht finden, jedoch existiert eine erkennbare Tendenz.

## 7. Auswertung

An der Studie nahmen insgesamt 14 Personen im Alter zwischen 23 bis 57 Jahren teil, wobei der Median bei 29 lag und der Mittelwert bei 32. Neun der Versuchsteilnehmer waren männlich und fünf weiblich. Bei der Einschätzung der eigenen realen Gehgeschwindigkeit schätzten nur drei Personen ihre reale Laufgeschwindigkeit als unterdurchschnittlich ein, während sechs Personen ihre reale Laufgeschwindigkeit als "eher schnell" angaben. Alle Probanden/-innen waren interne Mitarbeiter am DLR und nahmen in ihrer Arbeitszeit an der Studie teil, was möglicherweise einen Einfluss auf die Motivation der Teilnehmer haben könnte.

Obwohl die Frage nach der Platzierung der virtuellen Laufgeschwindigkeiten als einzige Frage nicht verpflichtend war, hat keiner der Probanden/-innen diese Frage aus Unentschlossenheit übersprungen. Es wurde mehrfach angemerkt, dass sich die Geschwindigkeiten, je nachdem, ob sich die Versuchsperson im virtuellen Raum oder auf dem virtuellen Tostmannplatz befindet, unterschiedlich angefühlt hat. Dies hat zwar die Entscheidungsfindung erschwert, trotzdem war es den Probanden/-innen immer möglich, eine klare Entscheidung zu treffen.

Für die Auswertung wurden die Ergebnisse mittels MATLAB [21] ausgewertet und als Diagramme aufbereitet.

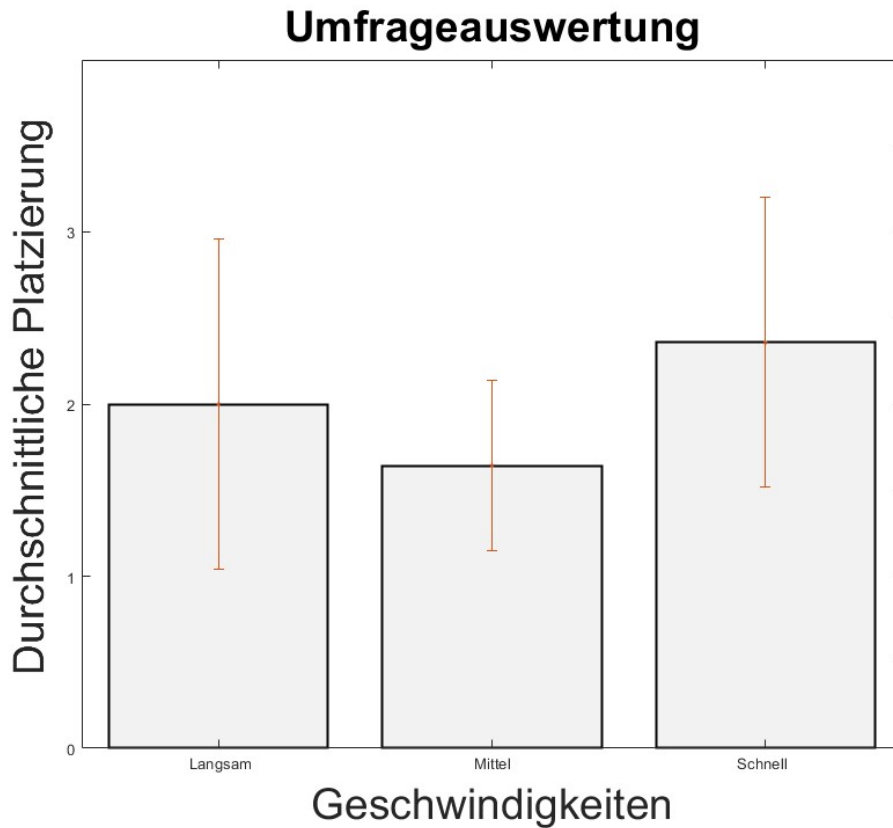


Abbildung 12: Platzierung der Laufgeschwindigkeiten mit Fehlerbalken

Die wichtigste Fragestellung war die Platzierung der virtuellen Geschwindigkeiten. Die Ergebnisse dieser Frage sind im Diagramm in Abbildung 12 dargestellt und nach den Geschwindigkeiten Langsam, Mittel und Schnell auf der X-Achse aufgeteilt. Die Y-Achse beschreibt dabei die Platzierung, wobei die Bewertung von Platz 1 (unten) nach Platz 3 (oben) dargestellt werden. Die Fehlerbalken zeigen dabei die Streuung der Daten auf, wobei ein größerer Fehlerbalken für eine höhere Unsicherheit der Daten steht.

## Hypothese 1: Lerneffekt und Reihenfolge

Während der Durchführung merkten mehrere Probanden/-innen an, dass sie bereits im zweiten Durchlauf eine deutliche Verbesserung ihrer Handhabung mit dem Bewegungsmodell feststellten. Dies wurde auch dadurch gestützt, dass der Großteil der Schwierigkeiten im Laufe der Durchführungen der Geschwindigkeiten als immer einfacher eingestuft wurden. Nur in ca. 8 Prozent der Fälle erhöhte sich das in den Fragebögen abgefragte Gefühl der Schwierigkeit zu den Szenarien zwischen zwei Geschwindigkeiten.

In 4 Fällen haben die Probanden/-innen die zuletzt durchgeführte Geschwindigkeit bevorzugt und in jeweils 5 Fällen wurde die als erste oder zweite durchgeführte Geschwindigkeit präferiert. Auch bei der Zählung des zweiten und dritten Platzes konnte keine Präferenz der zuletzt durchgeführten Geschwindigkeit festgestellt werden.



## Hypothese 2: Körpergröße

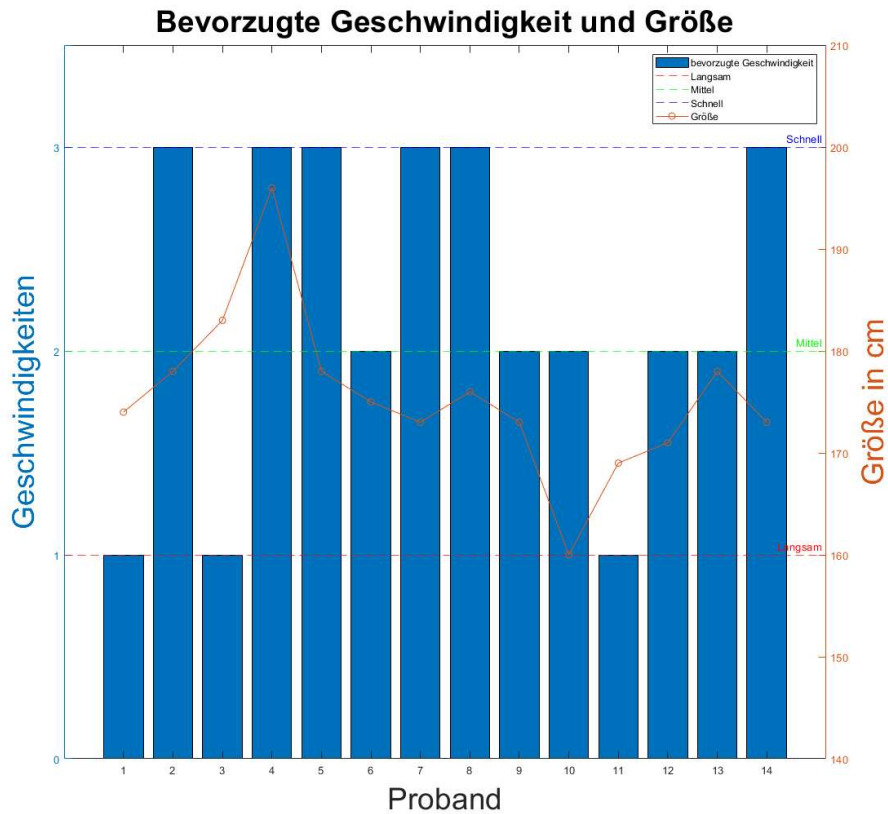


Abbildung 13: Bevorzugte Laufgeschwindigkeit zur Größe der Probanden/-innen

Ein Zusammenhang zwischen der Körpergröße und den bevorzugten Geschwindigkeiten ist weniger einfach nachzuweisen oder zu widerlegen. Im Diagramm in Abbildung 13 sind die Angaben zur bevorzugten Geschwindigkeit, welche sich aus der Frage nach der Platzierung ergeben, und die Körpergröße der Probanden aufgezeigt. Die Angabe der bevorzugten Geschwindigkeit stellt dabei die am besten bewertete Geschwindigkeit dar, welche mit den Zahlen 1 für Langsam, 2 für Mittel und 3 für Schnell gekennzeichnet werden.

Durch die Spitzen nach oben und unten im Größengraph der Abbildung könnte die Annahme entstehen, dass eine gewisse Tendenz existiere, jedoch müssen dafür

zunächst die Zahlen genauer überprüft werden. Aufgrund der Tatsache, dass die Größe keine ordinalskalierte Variable darstellt, musste hierfür Spearman's Rangkorrelationskoeffizient genutzt werden. Dieser Test ist in der Lage mit einer ordinalskalierten (Bevorzugte Geschwindigkeit) und einer kardinalskalierten Variable (Größe) zu arbeiten.

Da die Berechnung dieses Tests mit den gegebenen Daten einen Spearman-Korrelationskoeffizient von 0.271 ergab mit einem p-Wert von 0.3488, lässt sich schlussfolgern, dass der Zusammenhang zwischen der Größe und der bevorzugten Geschwindigkeit fast einem nach Cohen (1992) mittleren Effekt nahekommt [6]. Der Korrelationskoeffizient ist positiv, jedoch recht nah an der 0. Das bedeutet, dass eine geringe positive Korrelation zu bestehen scheint, jedoch ist der p-Wert deutlich über dem üblichen Signifikanzniveau von 0.05, weshalb davon auszugehen ist, dass die Korrelation sehr wahrscheinlich zufällig entstanden ist.

## Hypothese 3: Alter

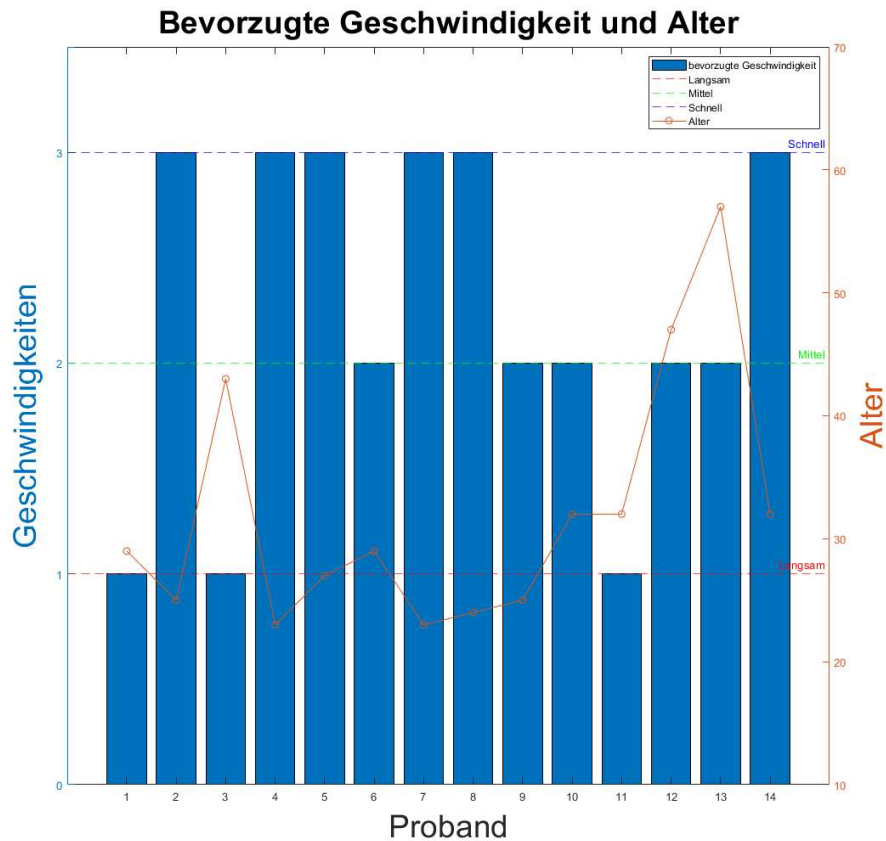


Abbildung 14: Bevorzugte Laufgeschwindigkeit zum Alter der Probanden/-innen

Auch im Diagramm in Abbildung 14 zu den Angaben von bevorzugter Geschwindigkeit und Alter lässt sich nicht direkt ein Zusammenhang erkennen, jedoch ist zwischen Alter und Geschwindigkeit eher eine umgekehrte Korrelation zu vermuten. Diese Annahme vereinfacht es, sich den Zusammenhang, dass ältere Menschen langsamere Geschwindigkeiten bevorzugen, anhand der Abbildung vorzustellen, auch wenn es nicht perfekt übereinstimmt.

Um diese Annahme jedoch sicher stützen zu können wurde wieder Spearman's Rangkorrelationskoeffizient genutzt. Mit einem Korrelationskoeffizient von  $-0.6161$

besteht eine starke negative Korrelation. Der p-Wert von 0.019 liegt deutlich unter den geforderten 0.05, wodurch eine hohe Signifikanz nachgewiesen ist.

#### Hypothese 4: Spielaktivität

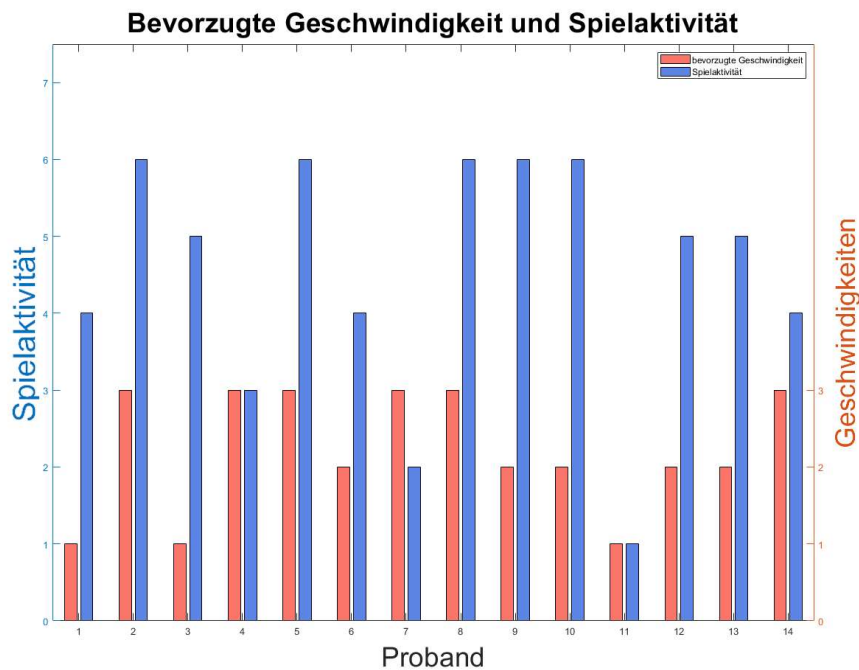


Abbildung 15: Bevorzugte Laufgeschwindigkeit zur Spielaktivität der Probanden/-innen

Zusätzlich zu den Angaben der bevorzugten Geschwindigkeit sind im Diagramm in Abbildung 15 die Angaben der Frage nach der Spielaktivität der Probanden/-innen dargestellt. Die Spielaktivität wurde auf einer 6 Punkte Skala abgefragt mit der Fragestellung „Wie oft spielen Sie digitale Spiele?“ und den Antwortmöglichkeiten von 1 für „nie“ bis 6 für „täglich“.

Bei den Datensätzen zu den bevorzugten Laufgeschwindigkeiten und der Spielaktivität der Probanden/-innen lässt sich bereits anhand der visuellen Daten eine gewisse Tendenz vermuten. Im Gegensatz zur Körpergröße sind hier beide Variablen ordinalskaliert, weshalb der Zusammenhang über den Wilcoxon Signed-Rank Test

untersucht werden kann. Dieser lehnt als Ergebnis die Nullhypothese ab, wodurch bestätigt wird, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der bevorzugten Geschwindigkeit und der Spielerfahrung besteht. Mit einem p-Wert von 0.0015, was deutlich unter dem Signifikanzniveau von 0.05 liegt, ist das Ergebnis hoch signifikant und damit sehr wahrscheinlich nicht zufällig. Außerdem entstand ein Signrank-Wert von 1.5, was ein sehr niedriger Wert ist, und darauf hindeutet, dass die meisten Unterschiede zwischen den gepaarten Werten sehr klein oder gleich null sind.

## Hypothese 5: Reale Laufgeschwindigkeiten

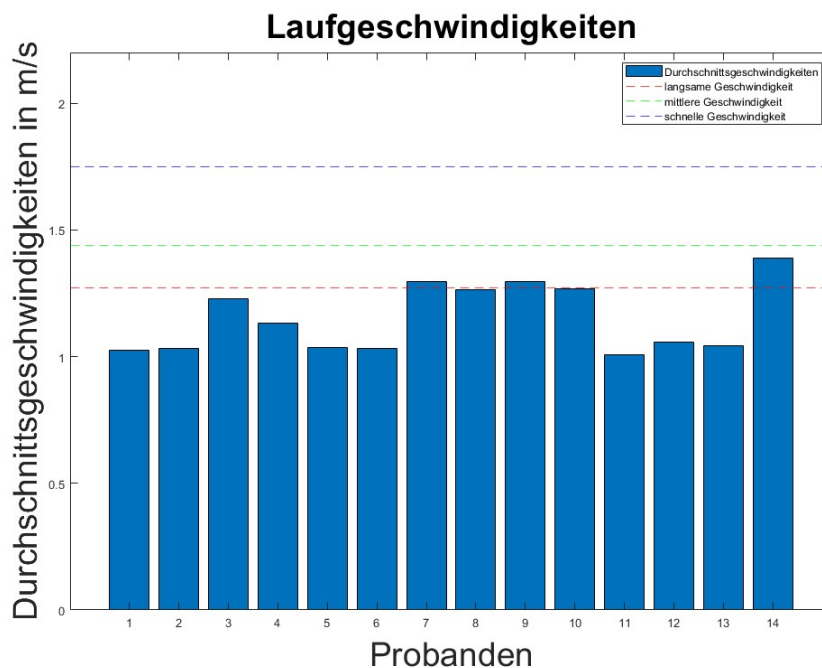


Abbildung 16: Bevorzugte Laufgeschwindigkeit zur realen Laufgeschwindigkeit der Probanden/-innen

Bei dem Vergleich der bevorzugten virtuellen Laufgeschwindigkeiten zu den real gemessenen zeigt sich eine der stärksten Limitierungen dieser Arbeit. Durch den Unterschied in der Methode dieser Studie zur Literatur sind sämtliche realen Laufgeschwindigkeiten deutlich langsamer als erwartet ausgefallen. Demnach ist der

Vergleich der Geschwindigkeiten deutlich weniger aussagekräftig. Wie in Abbildung 16 zu sehen ist, liegen die realen Laufgeschwindigkeiten, bis auf Versuchsteilnehmer 14, aller Probanden/-innen unter, oder nur knapp über, der langsamsten virtuellen Laufgeschwindigkeit.

Die Tatsache, dass die Präferenz der virtuellen Laufgeschwindigkeiten unter anderem vom Alter abhängig ist, und damit mit der Literatur zur realen Laufgeschwindigkeit übereinstimmt, ist zumindest ein Indiz dafür, dass die bevorzugte virtuelle Geschwindigkeit generell auch mit der realen Geschwindigkeit korreliert.

Um jedoch sicher zu sein, ob ein Zusammenhang zwischen den realen und virtuellen Laufgeschwindigkeiten besteht, wurde auch hier Spearman's Rangkorrelationskoeffizient genutzt. Mit einem Spearman-Korrelationskoeffizient von 0.3927 und einem p-Wert von 0.1649 besteht ähnlich wie bei den Körpergrößen eine geringe positive Korrelation. Diese ist stärker und signifikanter als bei der Größe, jedoch wird dennoch nicht das nötige Signifikanzniveau von 0.05 erreicht.

### Hypothese 6: Konsens

Wie in Abbildung 12 zu sehen war, konnte sich die mittlere Laufgeschwindigkeit gut gegen die langsame durchsetzen, der Vorsprung vor der schnellen Laufgeschwindigkeit ist jedoch eher gering. Dies liegt daran, dass die mittlere Geschwindigkeit zwar einmal weniger auf Platz 1 der Probanden/-innen gesetzt wurde, jedoch wurde sie im Gegensatz zur schnellen Geschwindigkeit kein einziges Mal auf Platz 3 gewählt. Insgesamt zeigt sich eine klare Tendenz für die mittlere Geschwindigkeit und gegen die langsame.

## 8. Diskussion

Entgegen der Erwartung der Hypothese 1 konnte in den Daten kein Zusammenhang zwischen dem Lerneffekt und den bevorzugten virtuellen Geschwindigkeiten festgestellt werden. Trotz der Tatsache, dass die meisten Probanden/-innen mit jedem Durchlauf besser mit der Bewegungssteuerung umgehen konnten, zeigte sich keinerlei Präferenz für die zuletzt durchgeführte Geschwindigkeit. Damit lässt sich diese Hypothese widerlegen und entweder sind trotz des Lerneffekts die Geschwindigkeiten selbst ausschlaggebend oder die Präferenzen hängen mit anderen Faktoren zusammen.

Ebenso zeigt sich ein Unterschied in der Erwartung und dem Ergebnis zu Hypothese 2. Auch wenn es zu Beginn den Anschein erweckte, dass ein Zusammenhang zwischen der Größe und der bevorzugten virtuellen Geschwindigkeit bestünde, konnte mittels Spearman's Rangkorrelationskoeffizient das Gegenteil bewiesen werden. Der Korrelationskoeffizient von 0.271 bestätigte zwar die Annahme des Zusammenhangs, jedoch wurde durch den deutlich zu hohen p-Wert aufgezeigt, dass dieser eher dem Zufall entsprang. Daher lässt sich auch die zweite Hypothese widerlegen und die Größe als Einfluss auf die Geschwindigkeitspräferenz ausschließen.

Im Gegensatz dazu konnte Spearman's Rangkorrelationskoeffizient den Zusammenhang zwischen dem Alter und der Geschwindigkeitspräferenz bestätigen. Die sehr hohe Signifikanz und der starke negative Effekt, welche nachgewiesen werden konnten, belegen, dass das Alter der Probanden/-innen einen wichtigen Faktor in der Geschwindigkeitspräferenz darstellt. Damit ist die Hypothese 3 bestätigt, weshalb das Alter der Probanden/-innen in zukünftigen Versuchen nicht außer Acht gelassen werden darf. Da diese Beobachtung auch mit den realen Laufgeschwindigkeiten der Literatur übereinstimmen, zeigt sich in diesem Fall auch eine Parallele zwischen der realen und der virtuellen Welt.

Auch Hypothese 4, welche einen Zusammenhang zwischen der Spielaktivität und der Geschwindigkeitspräferenz erwartet, konnte bestätigt werden. Durch den niedrigen p-Wert ist hier, ähnlich wie bei der vorigen Hypothese, eine sehr hohe Signifikanz nachgewiesen, was belegt, dass der Zusammenhang nicht zufällig entstanden ist. Dies bedeutet, dass es einen klaren Trend in die Richtung gibt, dass höhere Erfahrung mit einer Präferenz für höhere Geschwindigkeiten einhergeht.

Die Frage nach dem Zusammenhang in Hypothese 5 ist schwieriger zu beantworten. Durch die weniger optimalen Bedingungen und den dadurch nicht allzu gut vergleichbaren Werten, schien die Hypothese eher inkorrekt, da nahezu sämtliche real gemessenen Geschwindigkeiten der langsamsten virtuellen Geschwindigkeit am nächsten lagen. Im Gegensatz dazu sprach die Korrelation von Alter und bevorzugter virtueller Geschwindigkeit eher für die Hypothese. Die Zahlen und Spearman's Rangkorrelationskoeffizient konnten aber, durch den zu hohen p-Wert, die Hypothese widerlegen, weshalb kein signifikanter Zusammenhang zwischen der real gemessenen und der virtuell bevorzugten Geschwindigkeit besteht.

Hypothese 6, der Frage, ob ein einheitlicher Konsens auf eine beste Geschwindigkeit gefunden werden kann, widersprach die Auszählung der Platzierungen klar. Mit sechs Stimmen, welche die mittlere Geschwindigkeit auf Platz 1 setzten, und sieben Stimmen für die schnelle Geschwindigkeit, ist ein Konsens ausgeschlossen. Der Grund, dass die mittlere Geschwindigkeit insgesamt am besten bewertet wurde, war lediglich, dass sie nicht ein einziges Mal auf Platz 3 gesetzt wurde. Dadurch, dass die langsame Geschwindigkeit jedoch deutlich seltener Platz 1 erhielt und am meisten auf Platz 3 war, wird aufgezeigt, dass die Tendenz bei den schnelleren Geschwindigkeiten lag. Da sowohl die mittlere Geschwindigkeit als auch die schnelle überwiegend gut bewertet wurden, ist anzunehmen, dass mit einer Geschwindigkeit, welche zwischen diesen liegt, möglicherweise ein noch besseres Ergebnis hätte erzielt werden können und dort möglicherweise eine allgemeine Präferenz gefunden werden könnte.



## 9. Fazit und Ausblick

Aufgrund der in der Studie gewonnenen Einblicke zeigt sich, dass die Probanden/-innen auch mit nicht optimalen Geschwindigkeiten gut ihre Aufgaben bewältigen konnten, was nahelegt, dass die Laufgeschwindigkeit nicht das einzige relevante Kriterium für ein realistisches Gefühl der Simulation darstellt. Dennoch zeigte sich in der Art wie die Versuchspersonen mit unterschiedlicher Selbstsicherheit an die jeweiligen Szenarien herangingen, dass es trotzdem einen großen Einfluss auf die Herangehensweise und das Verhalten von Nutzern haben kann. Mit einer erhöhten Auswahl an Geschwindigkeiten könnte sicherlich versucht werden, die Ergebnisse weiter einzugrenzen und einer optimalen Geschwindigkeit näher zu kommen. Auch wenn es wie auch bei den in dieser Arbeit genutzten Geschwindigkeiten vermutlich keinen vollständigen Konsens geben wird, könnte es möglicherweise dennoch eine virtuelle Laufgeschwindigkeit zwischen den hier genutzten mittleren und schnellen Geschwindigkeiten geben, welchen beiden Gruppen noch besser gefällt. Ebenso könnte eine größere und diversere Versuchsgruppe genutzt werden, um weitere Zusammenhänge aufzudecken.

Eine Überraschung nach der Durchführung war zum Thema Cybersickness. Durch die Art der Fortbewegung und der damit einhergehenden Diskrepanz zwischen dem, was der eigene Körper macht und was die Augen sehen, wurde erwartet dass mehrere Probanden/-innen die Studie wegen Cybersickness abbrechen müssen. Stattdessen musste aber niemand abbrechen, und auch wenn bei einigen Versuchspersonen am Ende die ersten Symptome deutlich wurden, ging es allen Probanden/-innen bis zum Ende gut.

## 8.1 Limitierungen und Lösungsansätze

Im Laufe dieser Arbeit und der damit einhergehenden Studie lief nicht immer alles so wie geplant. So sind einige Probleme aufgetreten, welche nicht innerhalb der gegebenen Zeit gelöst werden konnten und es gibt Dinge, welche anders und vor allem besser gelöst werden könnten. Ebenso wäre es an verschiedenen Stellen sinnvoll gewesen etwas anders anzugehen, oder deutlich zu erweitern, um andere und möglicherweise sogar bessere Ergebnisse zu erreichen.

Eine große Limitierung bestand in der Anzahl und Diversität der Probanden. So gab es unter anderem das Problem, dass der Anteil an weiblichen Probanden geringer war als die Anzahl der Randomisierungen, und so nicht jede Kombination von ihnen abgedeckt wurden. Zwar wurden sämtliche Randomisierungen von den männlichen Versuchspersonen abgedeckt, und einige sogar mehrfach, jedoch könnte dadurch durchaus ein Bias in den Daten entstanden sein. Ebenso ist durch den hohen Anteil der 23 bis 30-jährigen Probanden nicht sichergestellt, dass sich in anderen Altersgruppen keine andere Verteilung der Ergebnisse gezeigt hätte. Dies ist gerade dadurch ein Problem, dass die Verkehrsforschung am DLR mit Probanden aus deutlich verschiedenere Altersgruppen arbeitet, und auch Versuchspersonen im höheren Alter einbezieht.

Dies könnte, genauso wie das in Kapitel 6.5 beschriebene Problem der Randomisierung der Szenarien gelöst werden, indem eine größere Studie mit deutlich mehr Teilnehmern durchgeführt wird. Damit wären sämtliche Ergebnisse erheblich signifikanter und Ausreißer in den Daten wären weniger problematisch.

Eine der wichtigsten Limitierungen wurde allerdings bereits in Kapitel 7, Hypothese 4 aufgegriffen. Hier hätte viel Potential für Verbesserung bestanden, indem man die realen Tests für die Laufgeschwindigkeit und das präzise Anhalten in unterschiedliche Tests aufteilt. Damit hätte die Methodik besser mit der Literatur übereingestimmt, und

möglicherweise hätte sich das Ergebnis der Hypothese 4 erheblich verändert. Außerdem wären die Pausen zwischen den Durchführungen in VR so auch verlängert gewesen, wodurch die Probanden/-innen mehr Gelegenheit gehabt hätten, sich ihre Referenz der realen Laufgeschwindigkeit zu bilden. Zu diesem Zweck hätte ebenso die Möglichkeit bestanden, in diesen Pausen mit den Probanden/-innen etwas im Gebäude oder auf dem Gelände umherzugehen oder sie allein etwas laufen zu lassen.

Eine weitere Anmerkung, die während der Durchführung des Öfteren aufkam, war die Rotationssteuerung der Controller. Diese brachte im Nachhinein betrachtet einige Schwierigkeiten mit sich. Zwar war es den Probanden gut möglich sich mit der gegebenen Steuerung zu bewegen, jedoch ließen viele Probanden beim Laufen die Arme nach unten hängen, wodurch es Fälle gab, bei denen die Probanden/-innen versehentlich den Controller leicht nach hinten zeigten und ohne zu wissen warum, rückwärts liefen. Außerdem war es für einige Versuchsteilnehmer schwer den Controller gerade genug geradeaus zu halten, um in die gewünschte Richtung zu gehen. Dies hätte durch die Verwendung eines Trackers, der an einem Hüftgurt befestigt ist, gelöst werden können, da dadurch unabhängig von der Position und Rotation der Controller immer die Richtung durch die Körpermitte bestimmt werden würde. Ebenso könnte dadurch das Problem behoben werden, dass die visualisierten Füße immer unter der VR-Brille angezeigt wurde, da diese den Mittelpunkt des Charakters bestimmte. Dies sorgte dafür, dass die Füße sich immer unter dem Kopf befanden und seltsam verschoben aussahen, wenn sich ein Versuchsteilnehmer nach vorne oder hinten beugte. Mit dem Tracker an der Hüfte wäre der Einfluss der Beugung deutlich geringer ausgefallen.

## 8.2 Weitere Verbesserungsmöglichkeiten

Als eine Alternative zu der Vergrößerung der Anzahl an Probanden, welche zuvor erwähnt wurde, hätte auch der Umfang der Studie vergrößert werden können. Aus zeitlichen Gründen war es hier nicht möglich, den Umfang signifikant zu erweitern, da sämtliche Durchführungen mit einem/r Probanden/-in bereits mehr als eine Stunde in Anspruch nahm, was zusammen mit der Vorbereitung der einzelnen Durchläufe bedeutete, dass nur wenige Versuche pro Tag durchgeführt werden konnten. Wenn die Zeit allerdings vorhanden gewesen wäre, hätte es die Möglichkeit gegeben, mehr als nur 3 Geschwindigkeiten auszutesten und auch andere Parameter zu überprüfen, die hier vernachlässigt wurden. So hätte unter anderem eine erweiterte Visualisierung des Avatars eingebunden werden können oder die Möglichkeit, wie in vielen Videospiele, eines Buttons zum "Sprinten" untersucht werden können.

Ebenso hätte eine höhere Diversität an Szenarien nützlich sein können. In dieser Studie wurden nur recht kurze Szenarien verwendet, welche eher auf die Komplexität der Bewegungsaufgaben abzielten, jedoch hätte auch die Einschätzung von längeren, in der Simulation gelaufenen Strecken interessant sein können.

Ein weiterer Teil, bei dem mehr Aspekte hätten untersucht werden können, ist die Auswertung selbst. Da für das DLR in dieser Studie auch einige andere Aspekte relevant waren, da diese im Zusammenhang mit anderen Studien von Bedeutung sein könnten, wurden einige zusätzliche Fragen gestellt und Daten in der Simulation aufgezeichnet. Durch die Auswertung dieser könnten noch andere Zusammenhänge getestet werden und die hier genannten Hypothesen genauer überprüft werden.



## 10. Literaturverzeichnis

- [1] April Miller: „VR Resolution, Field of View and the Science of the Human Eye“, (2021) <https://arinsider.co/2021/12/09/vr-resolution-field-of-view-and-the-science-of-the-human-eye/>, Online-Quelle, Zugriffen: 22.08.2024
- [2] Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (The International Journal of Aviation Psychology): „Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness“, (1993), [https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303\\_3](https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3), Online-Quelle, Zugriffen: 01.08.2024
- [3] Joseph J. LaViola (SIGCHI Bull.): „A discussion of cybersickness in virtual environments“, (2000), <https://doi.org/10.1145/333329.333344>, Online-Quelle, Zugriffen: 01.08.2024
- [4] Sebastian Kooijman: „User Story“ <https://scrumguide.de/user-story/> Online-Quelle, Zugriffen: 12.08.2024
- [5] Universität Zürich: „Wilcoxon-Test“, [https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse\\_spss/unterschiede/zentral/wilcoxon.html](https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/unterschiede/zentral/wilcoxon.html), Online-Quelle, Zugriffen: 24.08.2024
- [6] Universität Zürich: „Rangkorrelation nach Spearman“, [https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse\\_spss/zusammenhaenge/rangkorrelation.html](https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/zusammenhaenge/rangkorrelation.html), Online-Quelle, Zugriffen: 24.08.2024
- [7] Boletsis, C. (Multimodal Technol. Interact): „The New Era of Virtual Reality Locomotion: A Systematic Literature Review of Techniques and a Proposed Typology“, (2017), <https://doi.org/10.3390/mti1040024>, Online-Quelle, Zugriffen: 01.07.2024

- [8] So, R. H. Y., Lo, W. T., & Ho, A. T. K. (Human Factors). „Effects of Navigation Speed on Motion Sickness Caused by an Immersive Virtual Environment“, (2001), <https://doi.org/10.1518/001872001775898223>, Online-Quelle, Zugegriffen: 01.07.2024
- [9] T.P. Andriacchi, J.A. Ogle, J.O. Galante (Journal of Biomechanics): „Walking speed as a basis for normal and abnormal gait measurements“, (1977), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0021929077900495>, Online-Quelle, Zugegriffen: 01.07.2024
- [10] Anderson, F. C., and Pandy, M. G. (J Biomech Eng): "Dynamic Optimization of Human Walking", (2001), <https://doi.org/10.1115/1.1392310>, Online-Quelle, Zugegriffen: 01.07.2024
- [11] Samson, M.M., Crowe, A., de Vreede, P.L. et al. (Aging Clin Exp Res 13): „Differences in gait parameters at a preferred walking speed in healthy subjects due to age, height and body weight“, (2001), <https://doi.org/10.1007/BF03351489>, Online-Quelle, Zugegriffen: 01.07.2024
- [12] Richard W. Bohannon (Age and Ageing, Volume 26): „Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20-79 years: reference values and determinants“, (1997), <https://doi.org/10.1093/ageing/26.1.15>, Online-Quelle, Zugegriffen: 02.07.2024
- [13] Adrian Maleska: " 3D-Engines hinter den umsatzstärksten VR-Spielen 2019 – eine Analyse", 2020, <https://www.vrnerds.de/3d-engines-hinter-den-umsatzstaerksten-vr-spielen-2019-eine-analyse/>, Online-Quelle, Zugegriffen: 25.07.2024
- [14] GDXR: „Setting Up Smooth Locomotion VR Using Unreal Engine 5.1+ Using The Enhanced Input System.“, (2023), <https://www.youtube.com/watch?v=pUlpXN9jzNI>, Online-Quelle, Zugegriffen: 03.07.2024
-

- [15] Werewolven: „(Improved) Twin-Stick VR Player Movement with Speed Control & Independent Head Tracking in UE 5.1“, (2023), <https://www.youtube.com/watch?v=6GKBXl7Jul4>, Online-Quelle, Zugegriffen: 03.07.2024
- [16] C. Lai and R. P. McMahan (2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality): "The Cognitive Load and Usability of Three Walking Metaphors for Consumer Virtual Reality“, <https://doi.org/10.1109/ISMAR50242.2020.00091>, Online-Quelle, Zugegriffen: 2.07.2024
- [17] Vive Pro Support: „IPD am Headset einstellen“, [https://www.vive.com/de/support/vive-pro-hmd/category\\_howto/adjusting-the-ipd-on-the-headset.html](https://www.vive.com/de/support/vive-pro-hmd/category_howto/adjusting-the-ipd-on-the-headset.html), Online-Quelle, Zugegriffen: 22.08.2024
- [18] VRdirekt: „Was ist der Augenabstand bei VR-Headsets und worauf muss ich achten?“, <https://www.vrdirect.com/de/wiki/was-ist-der-augenabstand-bei-vr-headsets-und-worauf-muss-ich-achten/>, Online-Quelle, Zugegriffen: 22.08.2024
- [19] Lina-Maria Jerusel: „Wie wird der VR-Effekt erzeugt?“, <https://nettrek.de/wie-wird-der-vr-effekt-erzeugt/>, Online-Quelle, Zugegriffen: 22.08.2024
- [20] Witmer, B. G., & Singer, M. J.: „Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. Presence: Teleoperators and Virtual Environments“, (1998), <https://doi.org/10.1162/105474698565686>, Online-Quelle, Zugegriffen: 01.08.2024
- [21] MathWorks: „MATLAB“, <https://de.mathworks.com/products/matlab.html>, Online-Quelle, Zugegriffen: 23.08.2024